

[14] 大光通信, 1994, 15(1): 41-47.

[15] 大光通信, 1994, 15(1): 41-47.

[13] 秦大甲, 光纤与电缆及其应用技术, No. 2(1994), 36.

# 频率上转换全固化蓝光激光器<sup>\*</sup>

黄 元 庆

(厦门大学新技术研究所, 厦门 361005)

**摘 要** 介绍了和频和光泵光纤上转换两种蓝光激光器, 详细讨论了这两种激光器的基本原理、现状、发展趋势及其应用前景.

**关键词** 频率上转换, 蓝光, 激光器

## 1 概述

小型蓝光激光器在光电子学、高密度光存储、印刷、显示、医学等方面有着极其重要与广泛的应用, 因此国内外正致力于这方面的研究与开发. 但到目前为止, 还没有一种理想的小型蓝光激光光源. 气体蓝光激光器(如氩离子激光器等)体积大、效率低、成本高, 限制了它在上述领域的应用. 这就导致了人们致力研究微小型全固化蓝光激光器. 就蓝光激光器件的尺寸、牢固性、效率和成本来说, 最理想的器件应该是半导体激光器. 但由于目前半导体蓝光激光器在基础物理、材料、工艺等方面存在问题, 致使寿命未能达到实用要求. 要使该器件推向市场, 至少要好几年以后. 频率上转换蓝光激光器是全固化蓝光激光器的一种. 由于最近作为泵浦光源的红外激光二极管在高功率输出、单空间模、光谱稳定性以及特定波长范围等几个方面取得突破性进展, 满足了频率上转换的技术要求, 使这类蓝光激光器件的研究工作进展迅速. 1990年, 采用能量转移频率上转换机制, 在 35K 温度下获得 470nm 波长的蓝光激光输出; 采用两步吸收频率上转换机制, 用 781nm 和 648nm 两种泵浦光, 同时泵浦掺  $\text{Tm}^{3+}$  的  $\text{YLiF}_4$  基质材料, 在脉冲与室温状态下, 获得 453nm 的蓝光激光输出; 采用雪崩吸

收频率上转换机制, 用 648nm 单一波长泵浦掺  $\text{Tm}^{3+}$  的  $\text{YLiF}_4$  基质材料, 在 150K 温度下, 获得 483nm 的蓝光激光输出.

频率上转换蓝光激光器有两种类型: 一种是和频频率上转换蓝光激光器, 另一种是光泵掺杂稀土元素的激光晶体或光纤上转换蓝光激光器. 由于光纤结构具有严格的光学约束和长的相互作用距离, 导致了高浓度激发和有效的泵浦吸收, 可获得更高的转换效率和输出功率.

## 2 基本原理

上转换激光器, 实际上就是一种振荡频率高于泵浦光频率的光泵激光器.

当光场三个频率  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  之间满足

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2 \quad (1)$$

时, 便产生和频. 当然此时也应满足能量守恒:

$$\frac{h\omega_1}{2\pi} + \frac{h\omega_2}{2\pi} = \frac{h\omega_3}{2\pi}, \quad (2)$$

即

$$h\omega_1 + h\omega_2 = h\omega_3. \quad (3)$$

同时也满足动量守恒:

$$h\mathbf{k}_1 + h\mathbf{k}_2 = h\mathbf{k}_3, \quad (4)$$

式中  $h$  为普朗克常数,  $\mathbf{k}$  为波矢. (3)式与(4)

<sup>\*</sup> 1996年7月2日收到初稿, 1996年10月14日修回

式说明, 当一个频率为  $\omega_1$  的光子与一个频率为  $\omega_2$  的光子相互作用后湮没, 同时产生一个频率为  $\omega_3$  的新光子, 发射和频后的新激光束. 若  $\omega_3$  落在蓝光波段, 便产生和频蓝光激光器.

对于光泵光纤上转换激光器, 为使一个激光离子激发, 可直接经过从基态到高能态的双光子吸收跃迁而产生. 但由于双光子吸收截面

非常小, 以致无法进行有效的激光泵浦. 因此一般利用激光材料掺稀土离子的基态和激光上能级之间的长寿命中间能级(即常称的亚稳态), 起着泵浦能源库作用, 使集居的粒子数可以接近或超过基态, 使非线性激发与中间态同步进行, 提高激光效率. 因此通常频率上转换激发机制有三种类型, 如图 1 所示.

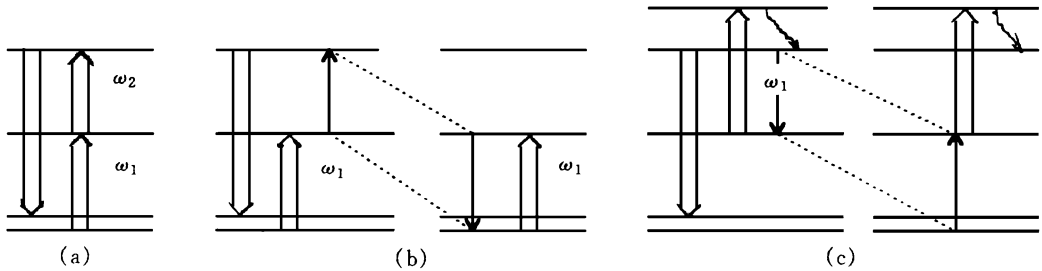


图 1 上转换激发机制示意图

图 1(a)是双光子吸收而导致上转换激发的机制, 其中第一个光子即频率为  $\omega_1$  的光子使中间态集居, 第二个光子即频率为  $\omega_2$  的光子通过激发吸收而使上激光能级激发. 这两个光子的能量一般是不同的. 图 1(b)是交叉弛豫能量转移的激发机制, 其原理是, 当足够多数量的离子激发到中间态时, 激发离子间的能量转移也能导致有效上转换. 其过程是: 两个物理上相当接近的离子通过非辐射过程耦合, 其中一个离子返回基态, 另一个离子被激发到上能态, 在多数情况下, 这种交叉弛豫过程均以电偶极子—电偶极子的相互作用为基础, 为补偿施主离子和受主离子之间的能量不匹配, 光子参与了这种能量转移过程. 图 1(c)是雪崩吸收上转换机制, 这种有效的上转换激发是以雪崩或“光子雪崩”过程为基础. 该过程涉及泵浦光的激发态吸收, 而中间态则通过交叉弛豫和能量转移而集居, 这种雪崩过程可用单谱线激光实现有效上转换泵浦, 所以雪崩吸收上转换激发机制是目前最有效的频率上转换激发机制.

用于上转换的光纤激光器的光纤, 一般采用掺杂稀土元素离子的氟化物基质材料制成, 常选用的掺杂激活离子有  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ ,

$\text{Er}^{3+}$  及  $\text{Tm}^{3+}$ , 掺杂浓度一般在 1%—2% 之间. 因为这些激活离子具有低声子频率, 其非辐射弛豫缓慢, 因此产生许多长寿命能级, 亦即存在大量的中间亚稳态能级, 使它们特别适用于频率上转换.

### 3 实验装置

#### 3.1 和频激光器

和频激光器的腔体结构主要有两种: 一种是驻波型, 另一种行波环状腔. 图 2 所示的实验装置图是一种典型的驻波型谐振腔. 其产生和频激光的过程为: 由 GaAlAs 激光二极管发射的 809nm 激光与由激光二极管泵浦 Nd : YAG 激光晶体产生的 1064nm 的激光, 由各自的光学耦合系统耦合, 在棱镜上重合, 并由聚焦透镜同时耦合进入由  $M_1$  与  $M_2$  组成的光学谐振腔内的 KTP 非线性晶体内进行和频, 结果发射 459nm 的蓝光激光输出. 在本实验装置中, 30mW 的 55% 的 809nm 光与 33mW 的 45% 的 1064nm 的光子同时耦合进入长为 5mm 的 KTP 晶体时, 获得 4mW 的 459nm 的蓝光激光输出. 这类和频激光器在技术上必须满足三

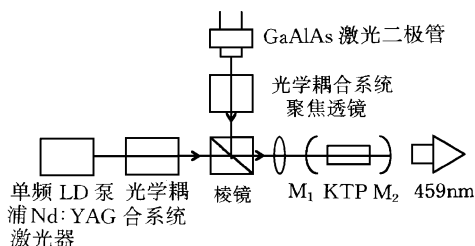


图2 驻波腔和频激光器结构示意图

个基本条件: (1) 两个入射光的波长, 在空间和光谱上与激光谐振腔相匹配, 即要求单横模与单纵模; (2) 阻抗匹配, 即耦合反射镜  $M_1$  的透射率必须与腔内往返一次所有的损耗匹配; (3) 两入射光的频率必须分别锁定, 使它们波长变化量处于 1—10nm 容限之内。由于热与声的干扰, 为保持激光二极管波长与激光谐振腔的匹配, 除了对入射光频率锁定外, 还必须使激光谐振腔长度稳定。目前解决这个问题的一种比较简单可行的办法是, 把谐振腔中的一块反射镜安装在压电换能器上, 用约为 20kHz 的频率调制腔长, 取样的光信号加到锁相放大器上, 产生误差信号, 一方面反馈返回压电换能器上, 追踪控制腔长变化, 另一方面把这误差信号加在激光二极管电源上, 调节二极管工作电流。目前, 采用 Nd:YLF 激光器发射的 1047nm 与量子阱半导体激光器发射的 845nm 的两种激光波长的光, 在 KTP 腔内混合, 获得 120mW, 467nm 的蓝光激光输出<sup>[1]</sup>。这是迄今为止所报道的和频蓝光激光器的最高输出功率。

### 3.2 光泵光纤上转换激光器

光泵光纤上转换蓝光激光器结构原理, 如图3所示。

在本实验装置中, 用单谱线泵浦光泵浦共掺  $\text{Pr}^{3+}$  与  $\text{Yb}^{3+}$  的 ZBLAN 氟化物光纤。实现频率上转换的机理是离子间的能量转移, 即  $\text{Yb}^{3+}$  作为吸收体或施主作用, 对泵浦光子进行有效的吸收, 使其激发, 然后再把能量转移给  $\text{Pr}^{3+}$ , 使之处于中间能级  $^1\text{G}_4$  上, 处于该能级的激发态  $\text{Pr}^{3+}$  吸收第二个泵浦光子, 实现从  $^1\text{G}_4$

能级跃迁到  $^1\text{I}_6$  能带中的某一能级, 如  $^3\text{P}_1$  能级, 然后从该能级无辐射弛豫到  $^3\text{P}_0$  能级上集居, 最后返回基态  $^3\text{H}_4$ , 同时发射 491nm 蓝光激光。当用 860nm 波长的激光泵浦长为 78cm 掺  $\text{Pr}^{3+}$  和  $\text{Yb}^{3+}$  的 ZBLAN 光纤, 输出耦合为 30% 时, 可获得 22mW 的 491nm 蓝光激光输出, 总的转换效率为 7.5%, 泵浦阈值约 80mW<sup>[2]</sup>。据最近报道<sup>[3]</sup>, 美国加州 SDL 公司的 Steve Sanders 与他的同事用 890mW 的 1130nm 的二极管激光器, 泵浦掺  $\text{Tm}^{3+}$  1% 的 2.5m 长的 ZBLAN 氟化物光纤, 可产生 106mW 的 482nm 波长的蓝光激光输出, 光—光总的转换效率达 12%, 阈值功率 80mW。这是目前所报道的激光二极管泵浦上转换光纤激光器获得最高的蓝光激光输出。

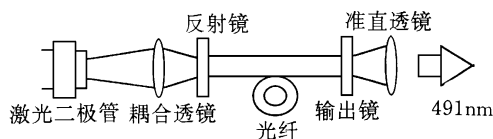


图3 频率上转换光纤蓝光激光器结构示意图

目前光纤上转换激光器一般仍处于低温运行状态, 受温度影响较大, 因为在较高温度下, 有几个因素可使激光性能退化。上转换激发的非线性泵浦机制对温度效应特别敏感, 随着温度的升高, 光谱变宽, 同时泵浦吸收效率降低。此外, 热感生交叉弛豫可使亚稳态寿命大为缩短。采用提高掺杂浓度并不能补偿吸收的下降。很多可见光上转换激光跃迁都终止在基态斯塔克分量到稀土离子的长寿命中间态。激光下能级的这种热感应集居可产生很大的再吸收损耗。使用共掺剂, 如在掺杂  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$  等的同时, 掺入  $\text{Yb}^{3+}$  敏化剂, 一方面能提高泵浦效率, 另一方面能减少激光下能级的有害集居。目前, 光泵光纤上转换激光器面临的主要挑战是实现室温实用化运转的蓝光的激光器。

## 4 结束语

在半导体蓝光激光器实现实用化之前, 频

率上转换激光器将是实现全固化蓝光激光器最有效方案之一,并且由于十分诱人的市场需要量,该器件在实用化方面,必将很快取得突破性进展.目前,我国在这领域仍处于实验室研究阶段,国家十分重视这项工作,把频率上转换的新型蓝绿光激光器列为国家自然科学基金

优先资助项目之一.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 友清, 激光与光电子学进展, No. 2(1996), 48.
- [ 2 ] Y. X. Zhao, S. Fleming, S. Poole *Optics Communication*, **114**(1995), 285.
- [ 3 ] 於祖兰、巩马理, 激光技术, **20**-1(1996), 52.

# 发光高分子聚合物中的无序结构及其对电子性质的影响<sup>\*</sup>

熊 诗 杰

(南京大学物理系, 固体微结构国家重点实验室, 南京 210093)

**摘 要** 发光高分子聚合物的电子结构和发光机制的理论研究, 是引起人们广泛重视的基础理论研究的新领域. 文章简要介绍了这方面的研究概况, 阐述了这种材料中的无序因素所引起的电子态的变化及其对电致发光性质的影响.

**关键词** 发光聚合物, 无序结构, Anderson 局域化, 电子能带结构

近年来, 以纤维状高聚物为基所构成的调制多层膜的电致发光性质, 引起了国际物理学界的极大关注. 实验发现, 用多种高聚物材料[如 PPV (聚对苯基乙烯)] 构成薄膜或调制型薄膜, 再在其两边加上不同的金属材料所组成的阳极和阴极, 就可制成性能良好的发光二极管(LED)<sup>[1]</sup>. 这种材料的发光频率处于可见光范围之内, 而且颜色可以进行调整. 它们价格便宜、重量轻、厚度薄, 具有良好的力学性能, 可以制成大面积的发光二极管. 因此, 如果能够在发光效率、工作寿命等方面进一步提高, 它们将会成为电视荧光屏和无机半导体发光二极管的良好替代品. 从而在显示技术方面引起一场变革. 此类材料的基本情况和实验方面的一些进展, 已经在张志林、蒋雪茵二同志的文章中作了介绍<sup>[2]</sup>. 在本文中, 我们将介绍近年来对这种材料的光电性质的微观机理的探索, 重点介绍了由于材料中的无序所引起的电子结构的变化及其对宏观性质的影响. 应该说, 由于结构的复杂性, 对此类材料的理论探索仍然处于初始阶段, 许多问题还存在着争论, 有许多新的效应还缺乏满意的理论解释, 希望本文能引

起有关读者开展进一步研究的兴趣.

## 1 电子结构的基本特点

从电子能带结构来看, 发光高聚物材料是一种有机半导体, 其导带和价带之间有一定的能隙. 在正常情况下, 导带和价带中都没有载流子, 因此是不导电的. 我们可以选用一种功函数较低的金属, 贴在高聚物薄膜的一边, 作为阴极, 再选用一种功函数较高的金属, 贴在高聚物薄膜的另一边, 作为阳极. 如果能使得阴极金属中电子费米能级的位置接近于高聚物的导带底部的位置, 而阳极金属中电子费米能级的位置接近于高聚物的价带顶部的位置, 那么在阳极和阴极之间加上一定的偏置电压后, 就会从阴极向其导带注入电子, 而从阳极向价带注入空穴. 这些进入 PPV 薄膜内部的电子和空穴, 在一定的条件下会发生复合而湮灭(也就是电子从导带跃迁到空穴所对应的价带空能级上), 其多余的能量就作为光子而辐射出来, 从

<sup>\*</sup> 1996 年 7 月 30 日收到初稿, 1997 年 1 月 2 日修回